

Российское сейсмостатическое зондирование: где купить и когда ожидать?



Авторы статьи отмечают, что такой эффективный геофизический метод, как сейсмография, все же не позволяет выделить часть слоёв разреза. Для этого существует целых шесть ограничений. Решить проблему можно при помощи микросейсмического каротажа. Однако это оказывается долгим, сложным и потому дорогостоящим процессом.

Тем не менее, имеется решение (метод) и этого главного недостатка – исключение всех подготовительных работ. При этом регистрирующие датчики доставляются к точке на глубине. Таким методом является SCPT – Seismic Cone Penetration Test в англоязычной терминологии или сейсмостатическое зондирование в русскоязычной терминологии. Авторам статьи представляется, что создание SCPT-зондов не должно стать существенной проблемой, ведь все элементы для создания аналогичного российского оборудования у существующих российских предприятий имеются. «Российские инженеры-геофизики давно обозначили спрос – где же предложение от российских производителей», – заключают они.

Прохачёв Максим Владимирович

Инженер-геофизик, ВК-сообщество «Инженерная геофизика»

Романов Виктор Валерьевич

Доцент, к.т.н., кафедра разведочной геофизики и компьютерных систем, РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина

Инженерная геофизика, или геофизические методы в инженерных изысканиях, решает множество задач, связанных с изучением верхней части геологического разреза в связи с хозяйственной деятельностью человека, в первую очередь, со строительством зданий и сооружений [Кувалдин, 2014]. Эти задачи включают вопросы расчленения геологического разреза по физическим свойствам, изучение состояния и физических свойств элементов геологического разреза, оценку физико-механических параметров (при имеющейся корреляции с другими данными).

Одним из «трех китов» инженерной геофизики являются сейсмические методы, и прежде всего – инженерная (малоглубинная) сейсморазведка. В недалёком прошлом метод преломлённых волн (МПВ) был практически единственной технологией исследования состояния и состава грунтов верхней части разреза. Причём реализовывалась его простейшая разновидность, основанная на регистрации в первых вступлениях прямых и преломлённых волн. В результате обработки и интерпретации данных, полученных этим методом, формировались простейшие слоистые модели с плоскими или криволинейными границами. Пластовая скорость первого слоя таких моделей определялась по наклону годографа прямой волны, у остальных слоёв — по наклону годографов преломлённых волн. Традиционные технологии определения глубинных разрезов по МПВ, такие как to' и сопряжённых точек, позволяют непрерывно проследивать лишь одну преломляющую (наиболее глубокую) границу. Все прочие фиксируются лишь в пунктах возбуждения, а их скорости и углы наклона находятся приближённо. С увеличением числа волн, выходящих в первые вступления, точность метода и устойчивость результатов падает [Кулакова, 2019]. Развитие метода преломлённых волн – сейсмическая томография (СТ) – лишь частично решает проблемы своего предшественника. В сейсмотомографии поле годографов первых вступлений рассматриваются как поле годографов рефрагированных волн, имеющих форму выпуклых кривых [Романов, 2015]. При достаточно малом шаге возбуждения данные СТ позволяют в автоматическом режиме восстановить непрерывное распределение истинных скоростей среды в вертикальном и горизонтальном направлениях.

В чем проблема?

Но часть слоёв разреза не выделяется даже при самом малом шаге возбуждения и использовании развитых алгоритмов инверсии. Во-первых, это слои с пониженной скоростью. В их кровле просто не образуются преломлённые волны. Такими слоями являются слои песков в глинах, подземные полости и коммуникации, зоны трещиноватости, слои торфа или ила под поверхностными отложениями естественных или насыпных грунтов.

Во-вторых, это промежуточные малоконтрастные по скорости сейсмических волн слои грунтов. Они не выходят в первые вступления и «пропускаются» как при реализации простого МПВ, так в СТ (так называемый эффект пропуска слоя).

В-третьих, МПВ бесполезен при изучении инверсных разрезов, в верхней части которых залегает приповерхностный высокоскоростной слой (ПВС), экранирующий преломлённые волны до тех пор, пока скорость на очередной границе не превысит скорость в ПВС. Такие слои наблюдаются при сезонном промерзании почвы и первого слоя грунта, при наличии твёрдого техногенного покрытия (асфальта, бетона или гранита), при выходе на поверхность скальных грунтов. При работе на продольных волнах ПВС также является слой морской или пресной воды, переувлажнённые почвы.

В-четвёртых, на ряде объектов скорость может закономерно уменьшаться с глубиной. Например, это полигоны захоронения ТБО, некоторые насыпные грунты и иные техно- и антропогенные отложения.

+7(495)641-2-641

ГЕОТЕХ
ГРУППА КОМПАНИЙ



- Малоглубинная геофизика
- Производство геофизического оборудования
- Уникальные отраслевые решения

geotech.ru

В-пятых, сильные преломляющие границы вблизи поверхности снижают точность и надёжность выделения последующих преломлений, снижают контрастность более глубоких границ. При выделении уровня грунтовых вод, неглубоко залегающей кровли скального или многолетнемёрзлого грунта, шанс выделить границы под ними очень невелик.

В-шестых, при исследовании методом преломлённых волн глубин свыше 15 м требуются значительные удаления для выделения волн в первых вступлениях. Из-за эффекта затухания [Романов, 2012] отношение «сигнал/помеха» на больших удалениях, как правило, невысоко, что снижает возможности МПВ при исследовании глубоких границ. Кроме того, в условиях плотной городской застройки при наличии мощной разветвлённой сети подземных коммуникаций [Кочев, 2018] выбрать протяжённый прямолинейный участок поверхности, однородный по поверхностным условиям, весьма затруднительно или невозможно.

Дорогостоящее решение проблемы

Вышеперечисленные проблемы успешно решаются таким геофизическим методом как микросейсмический каротаж [Кулакова, 2019], существующий в двух модификациях – прямой и обращенный, а также его закономерное развитие – вертикальное сейсмическое профилирование [Шехтман, 2017]. В прямом МСК источник (как правило ударный) располагается на поверхности земли, а приёмник (многоканальные зонд или гидроизолированная коса) перемещаются от устья к забою скважины. В обращённом каротаже по стволу скважины перемещается уже источник, а приёмное устройство находится вблизи устья.

В вертикальном сейсмическом профилировании (ВСП) используются специальные прижимные устройства для закрепления приёмного устройства в стволе скважины, что подавляет собственные колебания приёмников и даёт возможность изучать волны в последующих вступлениях, в первую очередь, отражённые. Как правило, в ВСП применяются трёхкомпонентные датчики, обеспечивающие одновременную регистрацию продольных и поперечных волн.

МСК и ВСП лишены базовых недостатков МПВ. Для них не нужны большие удаления, большое количество накоплений при возбуждении колебаний, выделяются слои малой мощности и пониженной скорости, инверсность разреза не сказывается на результативности скважинной сейсморазведки. Однако главным недостатком МСК и ВСП является необходимость в бурении скважин и их специальной подготовке, что весьма существенно сказывается на стоимости таких работ, вследствие чего такие методы применяются ограниченно, обычно – на объектах повышенной ответственности или особо ответственных объектах. Кроме того, обработка одной точки (получение скоростной кривой по глубине в одной скважине) занимает значительное время как при полевых, так и при камеральных работах, соответственно уменьшая производительность метода.

Эффективное решение проблемы

Тем не менее, имеется решение (метод) и этого главного недостатка – исключение всех подготовительных работ. При этом регистрирующие датчики доставляются к точке на глубине [Шокальский, 2013]. Таким методом является SCPT – Seismic Cone Penetration Test в англоязычной терминологии или сейсмостатическое зондирование в русскоязычной терминологии. По сути, это совмещение такого метода полевых испытаний грунтов как статическое зондирование с измерением скоростей сейсмических волн в грунте – в зонде конического типа располагаются две группы геофонов с фиксированным расстоянием между ними [Галушкин, 2018].

Сам процесс получения данных не сильно отличается от известного способа статического зондирования: зонд задавливается с равномерной скоростью в глубину, при этом регистрацию колебаний можно осуществлять как практически непрерывно, так и поинтервально, с остановками погружения зонда. Две группы датчиков, расположенные в зонде на расстоянии от 0.5 до 1 м друг от друга, обычно регистрируют две или три компоненты возбуждаемого сейсмического сигнала. Возбуждение упругих колебаний производится на поверхности возле точки входа зонда в грунт при помощи кувалды (хотя возможно применение и сейсмического вибратора – если регистрация непрерывная), при этом отслеживается глубина положения геофонов.

Такой подход позволяет уйти от большинства методических и теоретических недостатков метода преломленных волн, а также удешевить стоимость получения скоростных данных по глубине – до 5 раз по сравнению с традиционными инженерно-геофизическими методами [Шокальский, 2013], при этом остается возможность регистрации базовых параметров – лобового сопротивления, бокового трения и – для некоторых установок – порового давления при производстве статического зондирования.

Однако, не смотря на все преимущества описанного подхода, в России применение данного метода сильно ограничено. Основная причина – отсутствие собственных производителей SCPT-оборудования. На рынке инженерных изысканий только одна организация предлагает SCPT-оборудование для проведения таких работ, что создает условия для монополизации по некоторым направлениям инженерных изысканий. Ни московские «Пика-Техносервис», «ЛогиС» и «Геосигнал», ни екатеринбургский «Геотест», ни новосибирский «СибГеофизПрибор», ни пензенский «Геотех» до сих пор не предложили SCPT-зонд с регистратором, хотя сам метод SCPT известен в профессиональных кругах уже долгое время.

Заключение

Авторам статьи представляется, что создание SCPT-зондов не должно стать существенной проблемой, ведь все элементы для создания аналогичного российского оборудования у существующих российских предприятий имеются: есть производители как зондов, так и малоканальной сейсмоакустической аппаратуры. Любая связка таких производителей даст вполне ощутимые результаты практически через год после начала совместной работы.

Возможно, что у перечисленных российских производителей имеются опасения по вопросам спроса на данный вид оборудования. Стоит заметить, что поставляемая группой компаний «FUGRO» SCPT-установка предлагается на базе тяжелых установок статического зондирования, где присутствует автомобильное шасси, собственно установка зондирования, регистрирующий комплекс и всё это – внутри оборудованного кунга. Стоимость такого изделия такова, что исключает возможность его приобретения для средних и мелких изыскательских организаций. Несомненно, куда больший интерес со стороны последних

вызовет аналогичное оборудование на базе малогабаритных навесных установок статического зондирования.

Кроме этого, в последние годы инженерные изыскания выполняются в сложных геоморфологических и геологических условиях, например, в условиях болотистых местностей, в районах распространения специфических грунтов вблизи поверхности, на полигонах твердых бытовых отходов – то есть там, куда тяжелая установка статического зондирования не пройдет. Параллельно с этим возникают проблемы получения представительного материала также и в условиях ограниченного пространства традиционной малоглубинной сейсморазведкой по причинам, указанным выше при описании недостатков МПВ и СТ.

Всё это обеспечит приемлемый спрос на российское SCPT-оборудование для средних и малых предприятий, занимающихся комплексными инженерными изысканиями. Результаты SCPT будут востребованы при решении задач сейсмического микрорайонирования, получения детальных геолого-геофизических моделей геологической среды, детального расчленения разреза по сейсмоакустическим свойствам, при оценке динамических характеристик грунтов *in situ*. Также данный метод способен помочь при обследовании и оценке состояния любых типов свай и, возможно, даже при мониторинге некоторых существующих сооружений.

Российские инженеры-геофизики давно обозначили спрос – где же предложение от российских производителей?

Список литературы

Галушкин И.В., Рагозин Н.А., Стенин Д.В., Игнатьев В.И. Опыт применения сейсмоакустических методов исследования для построения детальной модели среды при проектировании особо ответственных объектов атомного строительства // Инженерные изыскания. 2018. Т. 12. № 11-12.

Кочев А.Д., Чертков Л.Г. Использование методов сейсмоакустики на закарстованных территориях крупных городов (на примере Москвы и Нижнего Новгорода) // Инженерные изыскания. 2018. Т. 12. № 9-10. С. 50-62.

Кувалдин А.В., Романов В.В., Рахматуллин И.И. Сейсморазведочные исследования при строительстве // Профессиональное образование и общество. 2014. № 2 (10). С. 56-58.

Кулакова Н.В. Обзор существующих методов изучения ВЧР // Геология и полезные ископаемые Западного Урала. 2019. № 2 (39). С. 241-247.

Романов В.В. Применение амплитудных графиков при обработке и интерпретации данных метода преломленных волн для решения задач инженерной геологии // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2012. № 4. С. 56-60.

Романов В.В., Мальский К.С., Боровой Е.А. Определение устойчивости бортов карьеров при инженерно-геологических изысканиях // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2015. № 7. С. 77-81.

Шехтман Г.А. Обращенное вертикальное сейсмическое профилирование // В сборнике: Сейсмические технологии - 2017: материалы научно-практической конференции. ООО «Центр анализа сейсмических данных МГУ имени М.В. Ломоносова». 2017. С. 31-35.

Шокальский М.Ю. Методы статического зондирования грунтов CPTU, SCPT и RCPT: практика применения, анализа и обработки их результатов // Инженерные изыскания. 2013. № 8. С. 40-45.